

兒童投擲發展之動態系統觀 (1967~2002)

朱治華/國立台灣體育學院體育研究所研究生

陳重佑/國立台灣體育學院體育研究所助理教授

摘要

本文主要是透過文獻探討比較動態系統理論與過去成熟論者談兒童投擲動作發展的研究概念的不同。兒童的動作發展是最近常被動作行為學家探討的重要主題，部分研究認為人類在動作發展的過程中必須經過反射動作期、初始化動作期、基本動作期再逐漸進入特殊化動作期。而中晚期兒童的動作發展正處於許多基本動作能力即將進入特殊化動作的成熟期。因此動作發展的動態系統理論觀點就此傳達出一種新的動作發展概念：即動作的產生是非線性、非連續性質變的，而且它認為人的動作形式是由環境、工作、個體三個次系統交互作用下所產生。過去關於投擲動作的研究多是探討投擲動作的動作型態，但是對於個體因為受到環境賦使的引導激發、工作限制下而引導出發展的討論並不多。

本研究的文獻分析除了可以提供為動態系統理論中，關於投擲動作所產生效應的檢證，也可以使運動教學者和研究者對於兒童投擲動作發展有更全面的了解，進而提供未來從事體育教學工作及訓練選手時的參考。

關鍵詞：中晚期兒童、動態系統理論、動作發展、投擲動作

壹、緒 論

投擲動作在現今科學工具的輔助下已經可以做相當精細的分析，以 Sekine、Toyokawa、Ae、Fujii 等人 (2002) 於東京所做的實驗中就可以發現他們以運動力學的角度來說明投擲動作是透過下半身、軀幹、上半身三方面的協調，使能量傳到手中的物體。換言之可說是一種提供高速能的動作另外加上左右搖擺幅度大的肩關節以及身體的扭轉而形成一個複雜的三次元動作。而雖然關於幼童投擲能力的研究中以投擲距離及球速的研究較多 (Butterfield & Loovis, 1993; Nelson、Thomas & Nelson, 1991; Robertson、Halverson、Langendorfer & Willson, 1979)。但是實際上，由於每個人的成熟度不盡相同，所以即使是對同年紀的兒童動作做評論也不容易。兒童動作發展的進程以及個體成長與成熟的時序各有不同，但是許多的動作基本能力，都會因年齡的增長而發展。換而言之，動作發展的清況和年齡的增長相關 (age related) 但不是完全決定於年齡 (Gallahue & Ozmun, 2002; Haywood & Getchel, 2001; Payne & Isaacs, 2002)。

人類在動作發展 (motor development) 的過程中必須經過反射動作期 (reflexive movement phase)、初始化動作期 (rudimentary movement phase)、基本動作期 (fundamental movement phase) 再逐漸進入特殊化動作期 (specialized movement phase)。而中晚期兒童的動作發展正處於基本動作能力即將進入特殊化動作期的成熟階段 (Gallahue & Ozmun, 2002)。再說兒童時期是人類發展歷程中最活潑好動的時期，更是身體各種基本能力的探索階段；不過近來對我國國小中年級學童的調查中，發現我國發展協調障礙兒童 (clumsy children) 竟然比歐美同齡學童高出四倍 (吳昇光, 2002)。因此如果在這段期間沒有將這些基本動作能力培養齊全，可能造成個體在成長 (growth) 的生理量化已經足夠，但是成熟 (maturation) 的生理質化卻不足。也就是說許多的運動技能或日常生活上的基本動作在未來的發展上，將會受到限制，因此特提出動態系統理論的觀點供大家對於研究兒童投擲動作發展的一些新的蹊徑。

貳、動態系統理論之動作發展論點

蘇聯學者 Bernstein (1967) 對於動作控制與發展提出自由度的問題，但是由於人體的自由度過多，為了簡化整個動作控制過程，必須將簡單的動作形成聯結 (unit)，所以提出了三個對動作控制的主要觀念，即 (1) 將整個個體視為機械系統 (mechanical system)，強調個體並非處於靜態狀況；(2) 自由度觀念的提出。控制了身體的自由度即掌控了動作控制。他強調穩定性 (stability) 的必要性，神經系統可將幾塊肌肉組群聯結成一個控制單元，稱為協同動作 (synergy) 這些協同動作極為協調動作的重要基礎。(3) 所謂動作協調能力就是能掌控自我多餘的自由度，為了要掌控新的自由度，此時個體會先凍結部分自由度而產生退化的情形。以上觀點的提出導致一般的動作發展 (motor development) 的哲思有了重大的轉變，亦即開始趨向於動態系統 (dynamic systems) 的概念模式。這個模式與動作發展成熟觀點 (maturational perspective) 有相當大的差距，因為成熟觀點認為中樞神經的成熟才是主要影響動作發展的主因 (Gesell, 1954; McGraw, 1943)，但是動態系統卻認為動作的出現是受到許多關鍵因素的控制。這些因素主要涵蓋在環境、工作項目與個體三個次系統 (sub-systems) 中，換句話說中樞神經只不過是個體次系統的其中一個參數，而由於這三個次系統的交互作用，生物體因而產生動作型態進一步去控制動作。而在某些因素的限制下，新的動作並無法出現，而當這些速率限制中最慢的因素成熟後，另一個新的動作才會出現；(Haywood & Getchell, 2001)。此外，人體也會隨著這些因素的變化，透過自發性的自我重整 (spontaneous self-organization) 能力，而形成在特殊條件下的特有動作型態。但在面對環境、工作項目不同的任務時，個體也會由其本質產生直接的目標性的改進與提昇。因此，動態系統認為動作的發展是不連續性的 (discontinuous)，即使是在某些次系統的連續性的改變下，動作常是以突現 (emerging) 的階段方式發展，例如：本來一個工作項目出現，個體可以使用形狀大小剛好的用具去完成它，但是因為提供的用具對個體而言可能是形狀大小不襯手的工具，此時個體立刻和環境、工作項目產生交互作用相對的會產生動態的模組而形成新的動作發展 (Haywood & Getchell, 2001)。此外在動作穩定的階段，由於動作本身誘因 (attractor) 的影響，動作不易產生改變，然而由於環境、工作與個體某些條件的變化，動作開始產生不穩定的狀態 (instability)，而此時即是動作轉換 (transition) 的關鍵期，經過這個階段的發展後，動作即進入另一個穩定階段 (Magill, 1998)。

以動態系統觀點來探討動作型態變化的研究，楊梓楣及卓俊伶（1998）以14名平均年齡為8歲的國小二年級兒童為受測者，研究不同大小尺寸的球所形成的環境限制，對兒童接球動作型態的影響。結果發現，接球動作的型態會因球的尺寸大小而產生改變，而這種改變就是屬於關鍵突現的階段性變化。另外，梁嘉音、卓俊伶及簡曜輝（1998）則是以1名社會甲組的女性籃球球員為受測者，利用改變投籃距離的環境限制研究對於投籃動作型態的影響。結果發現，投籃距離的不同一樣會使得投籃的動作型態產生改變，而且到了一定的距離後，動作甚至會產生關鍵性的退化現象。

因此，從動態系統的觀點來解釋不同動作的產生，可以發現其解釋可以涵蓋實際動作控制與生活動作發展中許多動作形成的原因，也解決了動作發展中年齡呈現非線性成長的問題。並且以動態系統所解釋的動作發展中，對於個體本身的自然本質(nature)對環境、工作項目互動的研究最近也漸漸被重視；Teixeiry 和 Gasparetto（2002）對巴西71位年齡分別為4、6、8、10歲的兒童（男34人、女37人）於空曠地做無目標物全力投擲的實驗，觀察其慣用手引起側面的不對稱的討論中就指出因為個體本身的限制引起環境、工作項目的被選擇性的情形。

參、以動態系統分析兒童投擲動作發展

一、動態系統觀點的動作發展歷程

基本動作期的動作形式依其特性可區分為穩定性(stability)、移動性(locomotion)、操作性(manipulation)三種。穩定性動作主要包含體軸的控制、身體的滾動、閃躲、單腳平衡、走平衡木、及倒立支撐等；移動性動作主要包含走、跑、跳等動作型式；操作性動作則包含投擲、接、踢、打擊、運球等動作技能(Gallahue & Ozmun, 2002)。如果觀察兒童平常的手部運動方式，不難發現投擲動作是許多運動項目及遊戲中必備的基本動作能力。而且，無庸置疑的，在體育活動及競技運動中投擲動作是重要的推進技能(propulsive skill)；因為基礎的過肩投擲動作將能被同化(assimilate)而應用在更多樣化、更廣泛的運動領域中，如：排球的扣殺動作、棒球的投手動作、羽球的高手擊球等(Butterfield & Loovis, 1993)。

過去對兒童投擲動作的控制與發展的研究中大多是以投擲的動作型態利用操弄工具或工作等限制來探討動作發展的效應(Holoubek, 1994; 李村祺與卓俊伶, 1998)。但就系統理論(systems theory)而言,在個體動作控制的系統中除了強調系統互動的觀念外,還加入了個體如何與環境互動的考量(胡名霞, 2001)。而依照Bernstein(1967)所提的系統模式(systems model),動作並不是由周邊或純由中樞驅使的,而是由許多系統之中的交互作用而產生,所以他認為協調能力是個體為了解決自由度(degrees of freedom)的問題所發展出來的能力。所以由兒童投擲動作發展的歷程再配合動態系統理論的論點,可以思考個體、工作任務、環境三者間,當交互作用產生而形成動作改變的過程中,應當有更多的影響參數在左右著投擲動作的成熟度的改變。

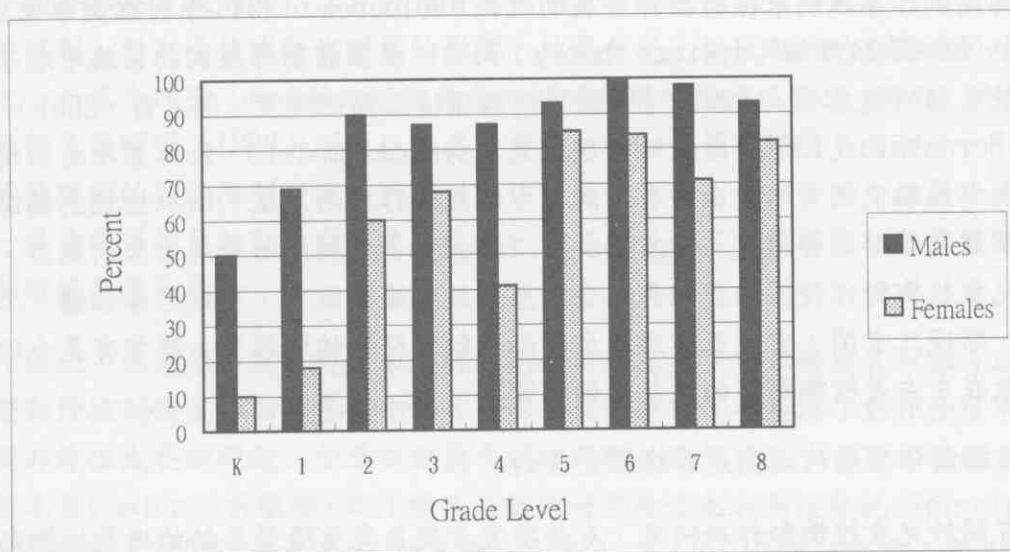
二、投擲動作型態的成熟是非線性發展的

有關於兒童投擲動作的研究,有些研究者認為兒童隨著年齡的增長投擲動作就會更趨於成熟(Hicks, 1930; Morris、Atwater & Wilmore, 1982)。也就是說兒童的投擲動作是隨著年齡呈現線性的發展趨勢。但是許多研究者對投擲者的動作型態、身體生物因素(biology)、性別等在年齡上做縱貫式(longitudinal)及橫斷式(cross-sectional)的研究,發現兒童的投擲動作可能受遺傳、環境、練習等不同的影響而呈現非線性的發展。其中以Wild(1938)對32名2至12歲的兒童為受測者所做的影片觀察分析可視為投擲動作研究之濫觴;而他也透過此研究提出了重要的四個投擲動作的階段,至今仍有許多研究沿用此階段分析。而在年齡縱貫式的研究中Robertson及其同事所發展出來的The Robertson Method,更可以說是投擲動作因素分析法(segmental analysis)中最具代表性的,他們自1972年至1979年7年當中收集了原始樣本73位兒童,其中39位兒童(22位男生和17位女生)為持續有效樣本分別記錄了6歲、7歲、8歲、及13歲的資料探討在全力投擲當中球速對前臂、上臂、跨步、墊步及軀幹等因子的相關性中發現同一個體在每個年齡層對於各個動作因子在不同的年齡層中進步的比率均不相同。更可以驗證孩童投擲動作的發展並非呈現線性發展。(Robertson & Konczak, 2001; Langendorfer & Robertson, 2002)

三、投擲動作發展是非連續性的歷程

而在性別的差異性中,明顯的可以看出男童的投擲動作不論在投擲距離、球速以及動作型態上普遍優於女童;而且一些研究者由成長環境、社會角色期許、運動參與及生物學的觀點驗證了這個論點(Nelson、Tomas & Nelson, 1986、1991)。甚至有研究明顯的指出五年級女生的投擲型態成熟度的百分比(the percent of

mature patterns) 還低於二年級的男生 (Butterfield & Loovis, 1993)。(圖一)



圖一 以 OSU-SIGMA 量表檢測男女學童投擲成熟度之百分比圖表

資料來源：Butterfield & Loovis, 1993。

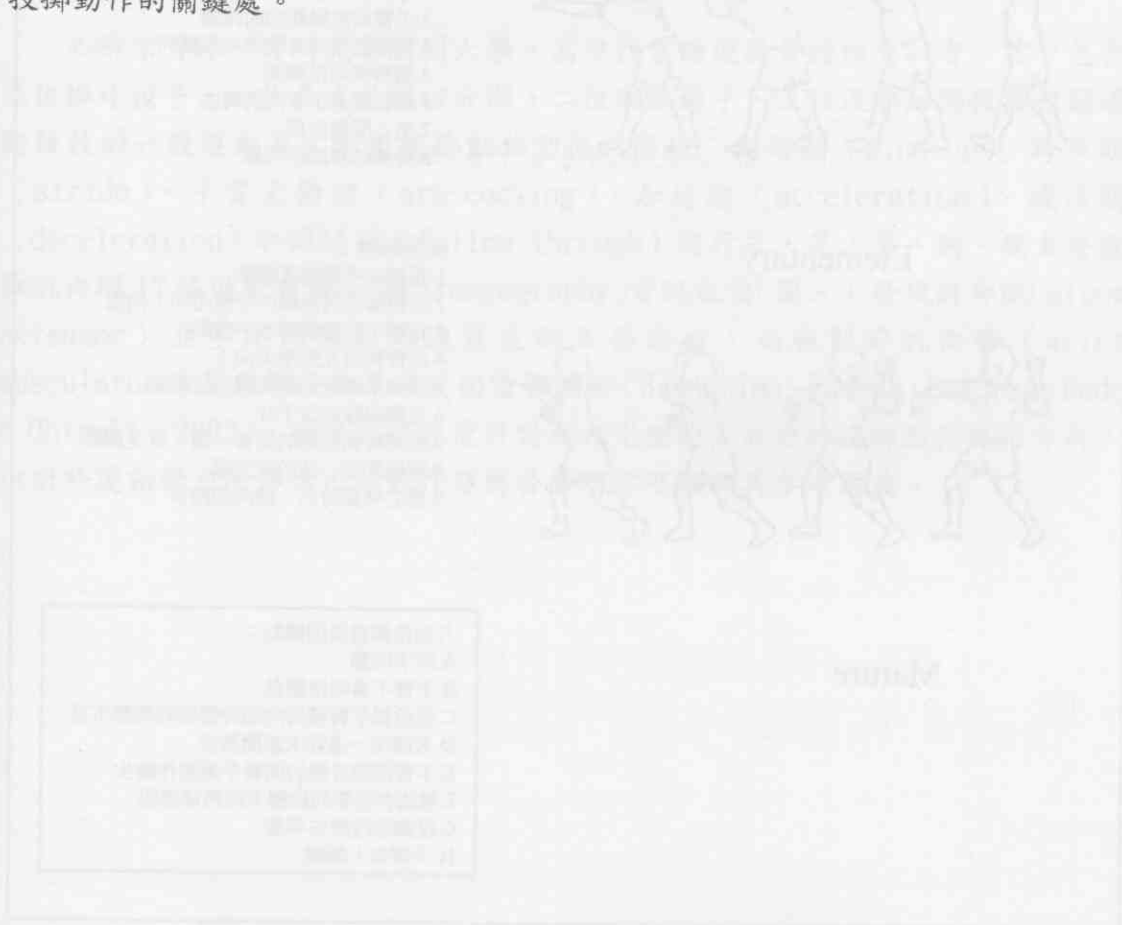
Yan、Payne 和 Tomas (2000) 等人也利用兩台攝影機拍攝 51 名 3 至 6 歲的女童的投擲動作，專門針對球出手速度及肘關節的伸屈角度作分析發現 6 歲的女童在投擲動作中肘關節屈伸角度較 3、4 歲女童靈活。透過上述我們可以瞭解，兒童的投擲動作發展與性別、年齡、成長環境、遺傳都有相關性，但是由兒童投擲的動作型態中，不難發現發展的關鍵時期不是連續不斷的，有時因為不同的次系統互相影響就會引發不同的發展方向及歷程。

肆、由動態系統看兒童期投擲動作型態與發展的關係

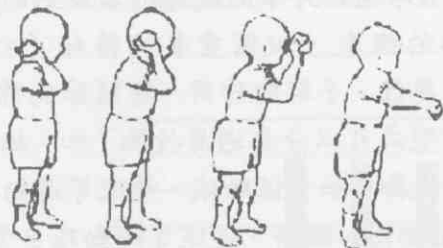
在緒論中曾提到 Gallahue 和 Ozmun (2002) 認為基本動作期的動作形式根據特性可以分為穩定性 (stability)、移動性 (locomotion)、操作性 (manipulation) 三種。尤其投擲動作的形成十分強調全身的協調性，所以許多研究者透過全身觀察法 (total body approach) 或是因素組成觀察法 (component approach) 來觀察投擲動作。

Adrian 和 Cooper (1995) 在他們的書中以運動力學的觀點形容成熟的投擲動作型態應該注意的項目，如：高速投擲的概念、四個重要的轉軸 (axes of rotation)、環肩關節的複雜性、肌肉的重要性、手部的作用、腕關節的作用等。Enoka (1993) 更提出投擲動作依照其動作型式可以分為過肩投擲 (如，棒球、板球、標槍、飛鏢等運動項目常使用)、低手投擲 (如，保齡球、壘球等運動項目常使用)、推擲 (如鉛球運動項目常使用)、拉擲 (如鐵餅、鏈球等運動項目常使用) 四種型態。

Gallahue (2002) 則將投擲動作分為初始階段 (initial stage)、基本階段 (elementary stage) 和成熟階段 (mature stage) 三階段 26 種動作技巧及 8 個發展的困難點 (圖二)，每種動作技巧和每個困難點均配合兒童身體發展與形成投擲動作的關鍵處。



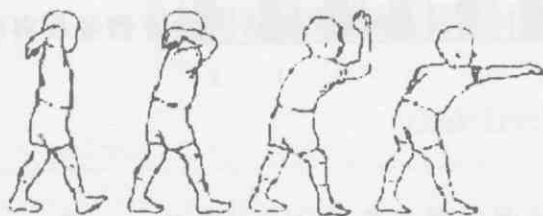
三階段 26 項投擲動作



Initial

初始階段：

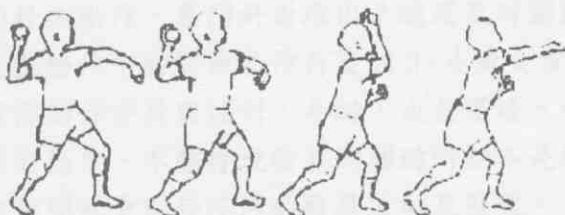
- 1.動作主要在手肘
- 2.手肘停留於身體前，動作類似推球
- 3.手指釋放時伸張
- 4.跟隨動作向前及向下
- 5.軀幹正對目標
- 6.軀幹僅有些微旋轉動作
- 7.身體重心些微前移保持平衡
- 8.腳停留於原地
- 9.投擲預備期腳很少移動



Elementary

基本階段

- 1.投球前，手臂向上揮動、側向、肘彎曲到身後
- 2.球置於頭後方
- 3.手臂高於肩膀向前揮動
- 4.預備動作時身體轉向投擲同一方向
- 5.肩膀轉向投擲側
- 6.軀幹隨著手臂向前彎曲
- 7.重心明確前移
- 8.投擲跨步同手同腳



Mature

成熟階段

- 1.預備時手臂向後擺動
- 2.非投擲手肘為維持平衡而向上抬起
- 3.投擲手肘伸展時水平向前
- 4.前臂轉向且拇指尖向下
- 5.預備期軀幹明顯的轉向投擲側
- 6.投擲肩膀輕微下沉
- 7.投擲轉動明顯的由臀、腿、背至肩膀
- 8.準備期重心位於直立腳
- 9.重心移動時另一腳向前跨步

八個投擲發展困難點：

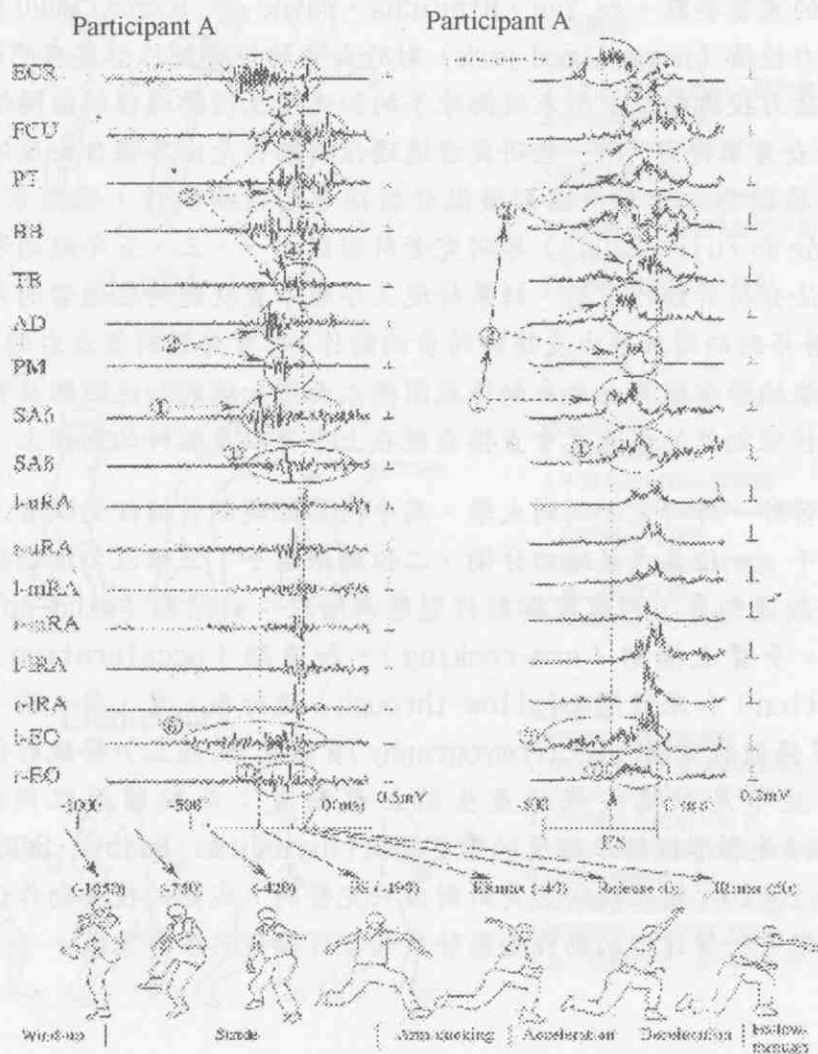
- A.同手同腳
- B.手臂不會向後擺動
- C.當投擲手臂被帶向前時臀部的轉動不足
- D.未擲球一邊腳未跟隨跨步
- E.手臂跟隨身體的節奏平衡動作較少
- F.無法在想要的投擲方向將球擲出
- G.投擲階段喪失平衡
- H.手臂向上翻轉

圖二 兒童投擲動作發展階段表

資料來源：譯自 Gallahue & Ozmun (2002) Understanding motor development: Infants, children, adolescents, Adults (5th ed.)

但有許多的研究者也嘗試各種運動科學實驗的方法，希望找到影響兒童投擲動作發展中的重要參數。如 Yan、Hinrichs、Payne 和 Tomas (2000) 等人發現常態下的猛力投擲 (normalized jerk) 對於女童的投擲動作型態有明顯的影響；6 歲女童在猛力投擲動作中所表現擲球手的加速度及投擲過程的流暢性明顯的比 3 歲、4 歲的女童來得好。而一些研究者透過投擲動作是由各種自由度的關鍵轉換而形成的發展觀念，便利用攝影機做分析孩童的投擲動作，像東京 Sekine、Toyokawa、Ae 和 Fujii (2002) 等研究者針對國小一、三、五年級的學童進行三度空間 DLT 法分析其動作型態，結果發現三年級學童就能夠在適當的角度出手投球，而且隨著年齡的增加藉由支撐腳跨步的動作，影響身體前後左右的運動範圍。另外，五年級的學童因為上半身動作範圍擴大而增加球的加速距離及初投速度；由此可知，投球動作的成熟度會直接表現在上半身以及軀幹的動作上。

而東京另外一群研究者則到大學、高中找業餘運動員擔任受試者，其中包含三位棒球投手、一位美式足球四分衛、二位網球選手、三位沒參加過投擲相關運動競技的一般運動員。利用投擲動作型態六階段：封閉期 (wind-up)、跨步期 (stride)、手臂上揚期 (arm-cocking)、加速期 (acceleration)、減速期 (deceleration) 和跟隨期 (follow-through) 進行手、足、肩、胸、腹主要投擲肌肉群 17 條做肌電圖 (electromyography) 資訊收集 (圖三)，發現肘伸肌 (elbow extensor) 並不足以構成球速產生的主要動力；而腕關節肌肉群 (wrist musculature) 是影響投擲準確度的重要關鍵 (Hirashima、Kadota、Sakurai、Kudo & Ohtsuki, 2002)。雖然此研究是針對成人完整的、成熟的投擲動作進行分析，但對於運動學中所傳達出的動作型態發展而言可顯現其參考意義。



圖三 成人投擲動作主要 17 條投擲肌肉群肌電圖

資料來源：Hirashima、Kadota、Sakurai、Kudo & Ohtsuki，2002

由以上所述，發現許多的動作行為學者都可以提出個體、環境、工作任務三者之間的交互作用而影響投擲動作的例證。

伍、結 語

由於以往有關於投擲動作的控制發展，因為各研究中年齡的分組差異、所探討的參數不同或是實驗情境設計的差異而有不同的結果。但是可以發現運用動態系統來說明的各種實驗多偏向限制 (constraints) 的討論，如：不同投擲目標條件 (Robertson, 1987) 及不同大小的球 (Burton, Greer & Wiese, 1992)。不過值得注意的是，在許多基礎動作的形成過程當中，環境賦使在個體與工作任務之間的鼓勵作用、積極正面的誘發作用也是不能忽視的。

透過以上的探討，我們可以非常清楚地瞭解兒童投擲動作發展的重要。因為投擲動作在許多的運動競技項目之中或是身體協調能力的建構項目中都佔了十分重要的地位；但是它又不同於跑、跳、走，在日常生活中都有練習機會。因此就動態系統理論的觀點而言，兒童獲得此動作發展的過程當中，我們除了要探討速度、身體比率、環境、工作項目的限制外，環境直接所提供的正向訊息實在也不能忽視。尤其投擲動作是許多動作的基礎，同時更是動作協調發展中的「球類技巧」裡一項十分重要的基本能力。因此體育課教學或是課程內容的安排，以及競技運動訓練的動作指導上均需要對學生、選手的動作能力及控制發展有所了解。更何況球類運動是相當吸引中晚期兒童的一個運動項目，因此投擲動作的良好協調發展將能夠讓兒童日後有更多持續運動的機會，所以多向度的瞭解兒童投擲動作發展的機制是相當重要的。尤其，動態系統理論的提出似乎也為兒童投擲動作發展提供了一個新的研究視野。

引用文獻

中文部份

- 李村棋、卓俊伶 (1998)。十二歲學童單手投擲型式的關鍵因素：手長寬度。體育學報，25，199-208
- 吳昇光 (2002)。教育部委託辦理發展協調障礙兒童之調查報告書。
中國醫藥學院
- 胡名霞 (2001)。動作控制與動作學習。台北市：金名圖書有限公司。
- 梁嘉音、卓俊伶、簡曜輝 (1998)。距離對籃球投籃動作型式的影響。體育學報，25，199-208。
- 楊梓楣、卓俊伶 (1998)。接球動作型式的環境限制變項探討。體育學報，25，269-278。

外文部份

- Adrian, M. J., & Cooper, J. M. (1995). *Biomechanics of human movement*. Madison, WI: Brown & Benchmark.
- Bernstein, N. A. (1967). *The coordination and regulation of movements*. Oxford: Oxford University.
- Burton, A. W., Greer, N. L., & Wiese, D. M. (1992). Changes in overhand throwing patterns as a function of ball size. *Pediatric Exercise Science*, 4, 50-67
- Butterfield, S. A., & Loovis E. M. (1993). Influence of age, sex, balance, and sport participation on development of throwing by children in gradesk. *Perceptual and Motor Skills*, 76, 459-464.
- Enoka, R. M. (2002). *Neuromechanics of human movement* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

- Gallahue, D. L., & Ozmun, J. C. (2002). *Understanding motor development: Infants, children, adolescents, Adults* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Gesell, A. (1954). The ontogenesis of infant behavior. In L. Carmichael (Ed.), *Manual of child psychology*. New York: Wiley.
- Haywood, K. M., & Getchell, N. (2001). *Life span motor development* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hicks, J. A. (1930). The acquisition of motor skill in young children: A study of the effects of practice in throwing at a moving target. *Child Development, 1*, 90-105
- Hirashima, M., Kadota H., Sakurai S., Kudo K., & Ohtsuki T. (2002). Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *Journal of Sport Sciences, 20*, 301-310.
- Holoubek, J. K. (1994). *The effect of ball weight on the overhand throwing pattern*. Unpublished master thesis, University of Minnesota.
- Langendorfer, S. J., & Robertson, M. A. (2002). Individual pathways in the development of forceful throwing. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 73*(3), 245-256.
- Magill, R. A. (2001). *Motor learning: Concepts and applications* (6th ed.). New York: McGraw-Hill.
- McGraw, M. B. (1939). Later development of children specially trained during infancy: Johnny and Jimmy at school age. *Child Development, 10*, 1-19.
- Morris, A. M., Williams, J. M., Atwater, A. E., & Wilmore, J. H. (1982). Age and sex differences in motor performance of 3 through 6 year old children. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 53*, 214-221.
- Nelson, J. K., Thomas, J. R., Nelson K. R., & Abraham P. C. (1986). Gender differences in children's throwing performance: Biology and

- environment. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 57(4), 280-287.
- Nelson, K. R., Thomas J. R. & Nelson J. K. (1991). Longitudinal change in throwing performance: Gender differences. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 62(1), 105-108.
- Payne V.G. & Isaacs L.D. (2002) *Human motor development: A lifespan approach* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Robertson, M. A. (1987). Development level as a function of the immediate environment. In J. E. Clark & J. H. Humphrey (Eds.) *Advances in motor development research*, 1, (pp. 1-15). New York: AMS.
- Robertson, M. A., Halverson, L. E., Langendorfer, S., & Williams K. (1979). Longitudinal changes in children overarm throw ball velocities. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 50, 256-264.
- Robertson M. A., & Konczak J. (2001). Predicting children' s overarm throw ball velocities from their developmental levels in throwing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72(2), 91-103.
- Sekine, K. Toyokawa, T., Ae, M., Fujii, N., & Shimada, K. (1999). A kinematic study on the development of the overarm throwing motion in elementary school boy. *Japanese Journal of Biomechanics in Sports and Exercise* 3(1), 2-11.
- Teixeiry L. A., & Gasparetto E. R. (2002). Lateral asymmetries in the development of the overarm throw . *Journal of Motor Behavior*, 34(2), 151-160.
- Wild, M. (1938). The behavior pattern of throwing and some observations concerning its course of development in children . *Research Quarterly*, 9 , 20-24.
- Yan, J. H., Hinrichs, R. N., Payne, V. G. & Thomas J. R. (2000). Normalized jerk: Measure to capture developmental characteristics of young girls' overarm throwing. *Journal of Applied Biomechanics* 16, 196-203.

